

**Perancangan kapasitas dan layout sistem  
pembangkit listrik tenaga mikrohidro  
jenis *cross-flow* sampai dengan daya  
terbangkit 25 kW**





© BSN 2013

Hak cipta dilindungi undang-undang. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh isi dokumen ini dengan cara dan dalam bentuk apapun serta dilarang mendistribusikan dokumen ini baik secara elektronik maupun tercetak tanpa izin tertulis dari BSN

BSN  
Gd. Manggala Wanabakti  
Blok IV, Lt. 3,4,7,10.  
Telp. +6221-5747043  
Fax. +6221-5747045  
Email: [dokinfo@bsn.go.id](mailto:dokinfo@bsn.go.id)  
[www.bsn.go.id](http://www.bsn.go.id)

Diterbitkan di Jakarta



## Daftar isi

Daftar isi.....	i
Prakata .....	ii
1 Ruang lingkup.....	1
2 Acuan normatif.....	1
3 Istilah dan definisi .....	1
4 Turbin aliran silang ( <i>cross-flow</i> ).....	3
5 Generator.....	5
6 Sistem pengaturan (kontrol) .....	5
7 Instalasi peralatan listrik dan pengamanan .....	6
8 Pemasangan dan garansi.....	6
9 Transmisi listrik.....	7
10 Instalasi rumah .....	7
11 Bendung dan <i>intake</i> .....	8
12 Saluran pembawa.....	9
13 Bak penenang.....	10
14 Pipa pesat.....	11
15 Rumah pembangkit.....	12
16 Saluran pembuang .....	12
17 Saringan .....	13
18 Pintu air.....	13
Gambar 1 – Kurva efisiensi hasil uji model turbin <i>cross-flow</i> .....	4
Tabel 1 - Ukuran kabel minimum untuk sambungan generator ke kontrol panel .....	6
Tabel 2 - Kecepatan aliran air maksimum yang diizinkan dalam saluran pembawa .....	9



## Prakata

Standar Nasional Indonesia (SNI) mengenai “ Perancangan kapasitas dan layout system pembangkit listrik tenaga mikrohidro jenis *cross-flow* sampai dengan daya terbangkit 25 kW”, Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (untuk selanjutnya disebut ‘Mikrohidro’ atau disingkat PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik kecil yang digerakan oleh tenaga air yang berasal dari sungai kecil atau irigasi, dengan cara memanfaatkan debit dan beda ketinggian (*head*) air. Untuk keperluan listrik pedesaan, listrik terbangkit merupakan arus bolak-balik yang bertegangan 220/380 volt AC. Selain keperluan tersebut, mikrohidro dapat digunakan daya mekaniknya secara langsung untuk pemompaan air, pengolahan pasca panen hasil pertanian/perkebunan, dan lain sebagainya.

Standar ini disusun oleh PT 27-03, Aneka Energi Baru dan Energi Terbarukan melalui prosedur perumusan standar dan dibahas dalam Rapat Konsensus pada tanggal 4 Desember 2012 di Jakarta.

Komponen Utama Mikrohidro terdiri atas:

1. Bangunan Sipil,
2. Peralatan pembangkit,
3. Distribusi Listrik.





## Perancangan kapasitas dan layout sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro jenis *cross-flow* sampai dengan daya terbangkit 25 kW

### 1 Ruang lingkup

Standar ini dapat dipergunakan untuk keperluan perencanaan, studi kelayakan, perancangan, rancang bangun, pembuatan peralatan, pelaksanaan pekerjaan sipil, pemasangan, dan komisioning peralatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan menggunakan turbin *cross-flow* sampai daya terbangkit 25 kW (elektrikal), pada *head* maksimum 40 m.

Standar ini tidak mengatur mikrohidro yang akan diinterkoneksi ke jaringan PLN. Untuk keperluan praktis, mikrohidro dapat dimanfaatkan untuk penerangan rumah tangga dan fasilitas umum, penyediaan air bersih, irigasi, pengolahan hasil pertanian/perkebunan, industri kecil, kerajinan, bengkel pedesaan, pengisian baterai, dan pemanfaatan produktif lain yang menggunakan listrik atau daya mekanik.

### 2 Acuan normatif

SNI 04-6953-2003, Pembangkit listrik hidro skala kecil

### 3 Istilah dan definisi

Mikrohidro adalah sebuah sistem pembangkit listrik yang memanfaatkan tenaga air sebagai sumber primernya dan memiliki komponen-komponen paling tidak adalah sebagai berikut:

- a. bendung/ *weir* serta kelengkapannya seperti sayap bendung,
- b. struktur penyadap/ *Intake* pengendap kelengkapannya,
- c. saluran pembawa serta kelengkapannya,
- d. bak pengendap dan bak penenang serta kelengkapannya,
- e. pipa pesat/ *draft tube* serta kelengkapannya,
- f. rumah turbin,
- g. turbin air dan sistem transmisi mekaniknya,
- h. kontrol beban dan atau kontrol turbin serta variasinya,
- i. generator listrik,
- j. sistem jaringan dan distribusi listrik,
- k. sambungan rumah dan instalasi rumah termasuk pembatas/ meter.

Jenis turbin sebenarnya tidak dibatasi, untuk standar ini Mikrohidro hanya menggunakan turbin *cross-flow*, namun penggunaan kincir air serta pemanfaatan energi air tanpa tekanan tidak dimasukkan dalam definisi sistem PLTMH.

Dalam standar ini digunakan istilah dan definisi sebagai berikut:

#### 3.1

##### **turbin air aliran silang (*cross-flow*)**

suatu alat yang berfungsi merubah energi hidrolik air menjadi energi mekanik putaran poros, air mengalir di antara sudu-sudu pada sisi *runner* secara melintang dan keluar di sisi yang berlawanan.



### 3.2

#### **runner**

bagian turbin yang berputar oleh daya kinetik air yang melintas dan/atau menumbuk sudu putar (*blade*).

### 3.3

#### **sudu putar (*blade*)**

bagian dari *runner* yang berfungsi mengubah daya air menjadi daya mekanik.

### 3.4

#### **sudu pengarah**

sudu yang mengatur debit air yang masuk ke *runner* dan mengarahkan aliran air ke sudu putar sehingga turbin mendapatkan energi yang efektif.

### 3.5

#### **turbine housing**

bagian turbin yang mengkondisikan aliran air dari *inlet* menuju *runner* untuk menghasilkan energi mekanik poros turbin dan berfungsi juga sebagai rangka tumpuan bantalan poros *runner* dan sudu pengarah.

### 3.6

#### **inlet**

saluran masuk aliran air menuju *turbine housing* dan *runner*.

### 3.7

#### **sumbu utama turbin**

bidang khayal horisontal yang melalui garis sumbu poros *runner* turbin.

### 3.8

#### **head**

jarak vertikal antara permukaan air pada bak penenang dengan sumbu utama turbin.

### 3.9

#### **pipa pesat**

pipa pesat atau *penstock* adalah pipa yang berfungsi untuk mengubah energi potensial air di bak penenang menjadi energi kinetik air.

### 3.10

#### **saluran pembawa**

kanal yang berfungsi mengalirkan air dari *Intake* ke bak penenang. Saluran pembawa dapat berupa kanal terbuka, kanal tertutup, pipa, terowongan air, atau talang air.

### 3.11

#### **bak penenang**

struktur bak yang mempunyai luas potongan melintang lebih besar dari saluran pembawa yang berfungsi untuk memperlambat aliran air agar terjadi pengendapan partikel sedimen dan menenangkan aliran air sebelum masuk ke dalam pipa pesat.

### 3.12

#### **daya mekanik**

daya pada poros turbin.

### 3.13

#### **efisiensi turbin**

perbandingan daya mekanik poros turbin terhadap daya air yang dinyatakan dalam persen.



**3.14****debit**

volume air per satuan waktu yang mengalir melalui penampang saluran atau pipa.

**3.15****adaptor pipa pesat**

komponen dengan bentukan transisi penampang yang menghubungkan pipa pesat dengan *turbine housing*.

**3.16****daya air**

daya yang tersedia untuk menggerakkan turbin.

**3.17****penyadap (*Intake*)**

struktur yang berfungsi mengarahkan air dari sungai masuk ke dalam saluran pembawa. Bak penangkap pasir (*sand trap*) dapat menjadi satu (terintegrasi) dengan struktur ini.

**3.18****kurva karakteristik pembangkit**

diagram yang menyatakan hubungan antara debit normalisasi dengan efisiensi sistem pembangkit.

**3.19****debit normalisasi**

perbandingan antara debit yang masuk ke dalam turbin terhadap debit maksimal.

**3.20****syarat penandaan turbin**

tabel yang memuat beberapa penjelasan teknis yang diberikan oleh pabrik pembuat turbin.

**3.21****rumah pembangkit**

struktur yang di dalamnya terdapat turbin, generator dan peralatan kontrol.

**3.22****bendung**

struktur yang berfungsi untuk menaikkan dan mengontrol tinggi muka air dalam sungai sehingga jumlah air yang memadai dapat dialihkan ke dalam *Intake*.

**4 Turbin aliran silang (*cross-flow*)****4.1 Desain**

Pembuatan turbin harus mengacu pada suatu desain yang dapat dipertanggungjawabkan. Kapasitas daya turbin yang dibuat harus dalam batasan kapasitas yang telah ditentukan oleh tiap desain. Turbin *cross-flow* yang dipergunakan harus sesuai dengan SNI.

**4.2 Kalkulasi**

Turbin yang dibuat harus disertai dengan kalkulasi minimum:

- perhitungan daya desain,
- perhitungan kecepatan putar *runner*,



- c. perhitungan elemen pembawa putaran/ transmisi mekanik (jika menggunakan elemen pembawa) seperti kopling, belt, puli dan *plummer block*.

#### 4.3 Proses produksi

Pada dasarnya proses produksi harus memenuhi persyaratan desain. Pemilihan bahan, proses pengerjaan, pemilihan komponen standar, perakitan, dan lain-lain harus mengikuti desain acuan.

Proses finishing diperlukan untuk mencegah terjadinya korosi:

- seluruh permukaan yang akan di cat harus terbebas dari kotoran, debu & oli,
- bagian dalam yang bersentuhan dengan air harus di cat dua lapis, cat primer dan cat,
- pelapis, lebih baik dengan cat khusus epoxy.

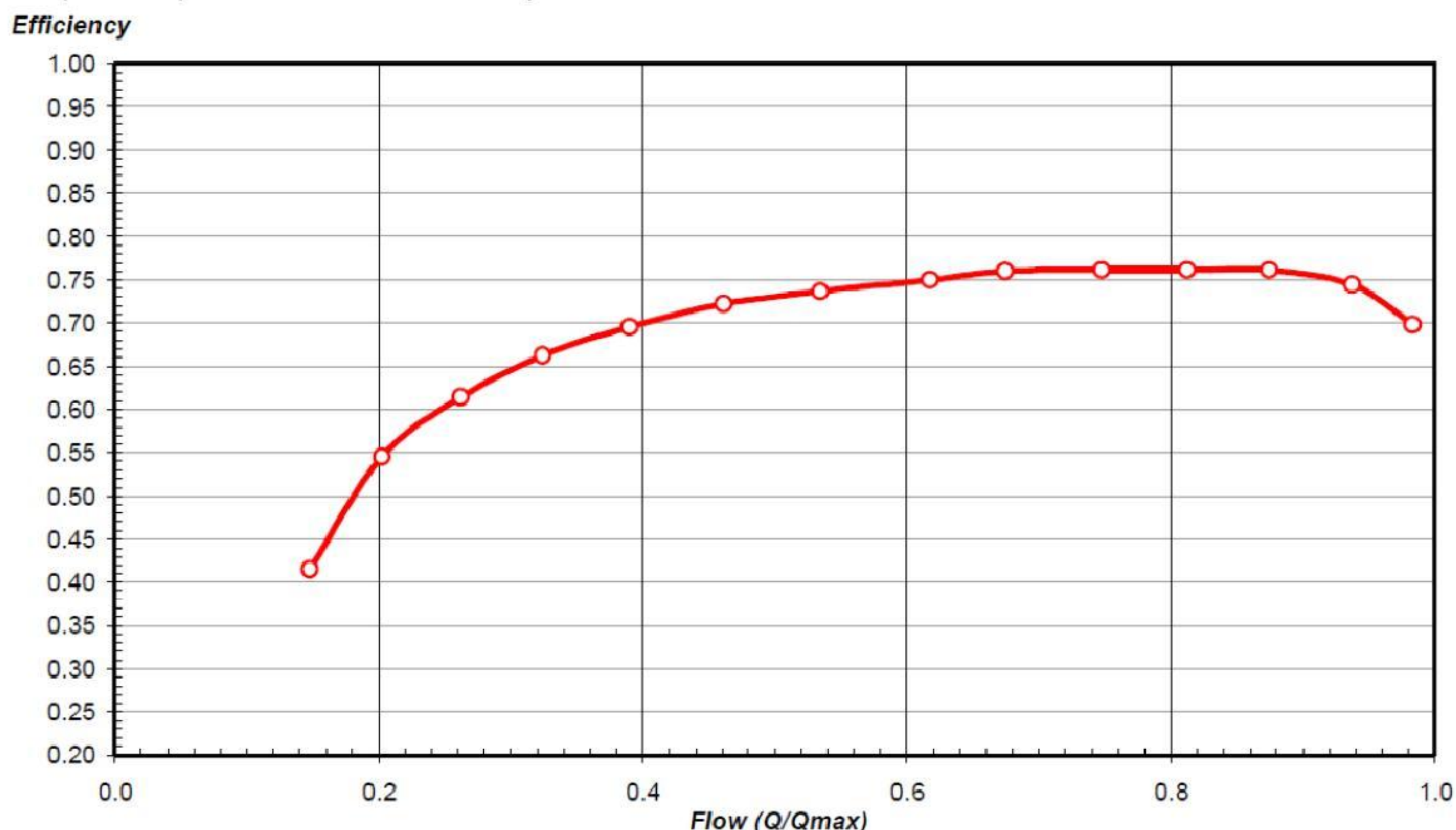
Bagian yang bergesekan harus diberi lubrikasi. Bearing harus diberi lubrikasi awalan dengan jumlah cukup sesuai dengan ketentuan produk. Semua bagian ulir pada baut harus diberi sedikit grease agar tidak mudah berkarat.

#### 4.4 Perakitan dan pengujian

Proses perakitan dan *alignment* dilakukan lebih dulu di bengkel produksi. Proses *alignment* (di bengkel produksi dan di rumah pembangkit) harus dilakukan dengan menggunakan alat-alat pendukung yang memadai dan dilakukan oleh teknisi yang telah terlatih. Setelah proses *alignment* selesai, seluruh bagian-bagian yang berpasangan harus diberi tanda atau diberi pin penepat agar memudahkan dalam proses bongkar pasang (misalnya untuk keperluan transpor, *maintenance*, penggantian suku cadang).

#### 4.5 Kurva efisiensi hasil uji model turbin *cross-flow*

Pabrikan turbin dianjurkan menyertakan kurva efisiensi hasil uji model turbin yang menunjukkan tingkat efisiensi turbin terhadap berbagai perubahan kondisi debit operasional. Kurva efisiensi setidaknya menunjukkan *range* operasional turbin yang masih dapat beroperasi pada debit 40% sampai 120% dari debit desain.



Gambar 1 – Kurva efisiensi hasil uji model turbin *cross-flow*



## 5 Generator

Kapasitas generator (kWe) minimum yang digunakan adalah 130% dari kapasitas daya desain. PLTMH dengan daya di atas 5 kW diharuskan menggunakan generator dengan keluaran 3 fasa. Spesifikasi generator harus mengikuti standar frekuensi 50 Hz, Tegangan 220/380 Volt atau 230/400 Volt. Generator yang digunakan disesuaikan dengan kapasitas daya yang dihasilkan PLTMH. Dapat dipilih generator sinkron atau asinkron. PLTMH dengan daya lebih kecil atau sama dengan ( $\leq 10$  kW) dapat menggunakan generator sinkron yang menggunakan sikat arang (*brushes*). PLTMH dengan daya lebih besar ( $> 10$  kW) diharuskan menggunakan generator sinkron tanpa sikat arang (*brushless*) dan dilengkapi dengan AVR. Generator yang dipakai harus sesuai dengan SNI.

## 6 Sistem pengaturan (kontrol)

Sistem pengaturan ini dapat berupa sistem pengaturan mekanikal (*flow kontrol*) dan elektrik (kontrol beban).

### 6.1 Komponen panel kontrol

Panel kontrol listrik harus terbuat dari pelat besi yang dicat dengan baik dan diperuntukan untuk penggunaan panel listrik. Panel harus memiliki minimal informasi sebagai berikut :

- ampere meter beban tiap fasa,
- volt meter generator,
- frekuensi meter analog,
- hour meter* (pengukur jam operasional),
- kWh meter untuk mengukur energi listrik konsumen,
- panel listrik harus dilengkapi pembatas arus dan pengaman hubung singkat dari jenis,
- MCCB (*Moulded case circuit breaker*) dengan nilai breaking capacity minimum 10 kA,
- terminal sambungan kabel pada panel harus diberi label/nama sesuai dengan peruntukan untuk memudahkan instalasi dan identifikasi ,
- panel listrik harus dilengkapi dengan manual operasi dan diagram rangkaian listrik (*wiring diagram*) untuk memudahkan pemasangan dan perbaikan.

### 6.2 Kapasitas panel kontrol

Penggunaan panel kontrol disesuaikan dengan kapasitas daya pembangkit dengan ketentuan sebagai berikut;

- daya lebih kecil 5 kW dapat menggunakan panel kontrol manual yang dibuat sesuai spesifikasi dan ketentuan teknis yang baik,
- daya lebih besar atau sama dengan 5 kW diharuskan menggunakan panel kontrol otomatis (ELC, IGC,) dengan *Ballast load* udara atau air atau *mechanical controler* dan dirakit dengan benar,
- harus tersedia suku cadang untuk komponen komponen yang *fast moving* seperti fuse, kapasitor, *main board*, lampu indikator dan saklar elektronik ELC (SCR/TRIAC).

### 6.3 *Ballast load*

*Ballast load* dapat menggunakan tipe pemanas udara atau pemanas air dengan standar penggunaan industri. Kapasitas *ballast* minimal 130% dari daya desain (el). Penempatan *ballast* udara harus menggunakan sangkar pengaman dan diletakan di luar rumah pembangkit yang mempunyai sirkulasi udara memadai pada posisi yang aman dari gangguan cuaca dan jangkauan tangan manusia. *Ballast* air ditempatkan di luar rumah pembangkit pada bak yang memiliki sirkulasi air yang baik dan dengan volume yang memadai. Bak air harus memiliki sangkar pengaman untuk mencegah terjadinya kecelakaan.



Sambungan *ballast* ke panel kontrol menggunakan kabel dengan ukuran yang memadai dan sambungan skun. Jalur kabel harus rapi dan disesuaikan dengan tata letak berbagai peralatan dalam rumah pembangkit.

## 7 Instalasi peralatan listrik dan pengamanan

Kabel yang digunakan untuk sambungan generator ke kontrol panel adalah jenis NYHHY (serabut fleksibel) dengan ukuran yang dihitung sesuai dengan kapasitas daya pembangkit. Tabel berikut dapat dipergunakan untuk pemilihan ukuran kabel berdasarkan kapasitas daya terbangkit:

**Tabel 1 - Ukuran kabel minimum untuk sambungan generator ke kontrol panel**

Daya	Ukuran kabel
5 kW	2 x 6 mm <sup>2</sup>
5 kW – 10 kW	4 x 6 mm <sup>2</sup>
10 kW – 15 kW	4 x 10 mm <sup>2</sup>
15 kW – 20 kW	4 x 16 mm <sup>2</sup>
20 kW – 25 kW	4 x 25 mm <sup>2</sup>

Semua sambungan kabel pada generator dan panel harus menggunakan sepatu kabel /skun dengan ukuran yang sesuai diameter kabel. Kabel harus diletakan pada saluran kabel atau pipa PVC dan dipasang dengan rapih dan teratur. Semua sambungan listrik dilakukan pada terminal yang disediakan dan di dalam panel kontrol. Pada rumah pembangkit wajib dipasang penangkal petir untuk melindungi generator dan peralatan pembangkit lainnya.

Semua bagian yang terbuat dari logam seperti generator, panel kontrol, turbin dan landasan turbin generator harus di tanahkan (*grounding*). Kabel pentanahan (*grounding*) terbuat dari bahan tembaga dengan ukuran minimum adalah 10 mm<sup>2</sup> atau lebih. Batang pentanahan terbuat dari tembaga atau pipa besi galvanis dengan panjang minimal 1.5 meter. Batang pentanahan ditanam disekitar rumah pembangkit pada tanah basah (bukan tanah berbatu) minimal dua buah dan digabungkan menjadi satu.

## 8 Pemasangan dan garansi

### 8.1 Kelengkapan dokumentasi

Setiap produk yang dipasang harus disertai dengan dokumentasi yang memadai. Buku pengoperasian harus selalu disertakan pada setiap penyerahan peralatan. Buku tersebut harus menyediakan data-data:

- kontak supplier, alamat jelas dan nomor telepon,
- gambar susunan layout di PLTMH,
- gambar komponen utama lengkap dengan daftar *spare part*,
- penjelasan mengenai langkah-langkah perawatan peralatan (turbin, *bearing*, *belt*, generator, kontroler, dll),
- daftar atau jadwal perawatan,
- pemasangan atau Instalasi.



Untuk memudahkan pemasangan turbin, di rumah pembangkit harus disediakan area untuk pengecoran *base frame* berikut tulangan beton. Pihak manufaktur turbin harus menyiapkan gambar/ sketsa pemasangan turbin sebelum pengiriman turbin ke lokasi. Instalasi peralatan pembangkit dapat dilakukan oleh manufaktur yang bersangkutan atau oleh orang yang terlatih untuk melakukan instalasi dan komisioning. Pihak yang melakukan instalasi harus memberikan pelatihan singkat kepada pengurus PLTMH dan calon operator agar dapat mengoperasikan, merawat, dan memperbaiki (bila terjadi kerusakan kecil) pada peralatan pembangkit.

## 8.2 Garansi dan umur pakai

Semua turbin, generator, dan kontroler harus disertai dengan garansi penuh selama 1 (satu) tahun yang termasuk pergantian spare part dan ongkos kerja. Layanan purna jual (*after sales service*) diberlakukan setelah habis masa garansi (ongkos kerja dan biaya pergantian spare part ditanggung pengurus PLTMH). Umur pakai turbin diharapkan mencapai 10 tahun. *Bearing* harus dapat bertahan hingga 3 tahun (dengan perawatan yang benar). Umur pakai *flat belt* bisa mencapai 3 tahun, sedangkan *V-belt* sekitar 1 tahun.

## 8.3 Faktor keselamatan

Semua bagian atau komponen yang bergerak atau berputar harus diberi sangkar pelindung. Penggunaan insulasi dan *grounding* untuk menghindari bahaya sengatan listrik. Sediakan selalu petunjuk atau tanda-tanda keselamatan yang memadai.

## 9 Transmisi listrik

Transmisi listrik menggunakan sistem tegangan rendah (230/400 Volt). Kabel yang digunakan adalah kabel jenis *twisted* (NFA2X) yang telah bersertifikat SNI atau LMK. Ukuran kabel ditentukan oleh jarak transmisi dan besar daya yang disalurkan sesuai. Tiang listrik yang digunakan adalah tiang besi, tiang kayu, atau cor-an beton dengan tulangan besi yang dibuat sendiri. Jarak antar tiang yang direkomendasikan adalah 40 meter dan dapat lebih kecil pada kondisi geografis tertentu tiang beton ditanam dalam tanah minimal 1 meter dan tiang kayu ditanam dalam tanah minimal 70 cm. Semua tiang listrik harus dilengkapi dengan aksesoris tiang standar seperti klem tarik tegang, klem gantung, pengikat, dll.

## 10 Instalasi rumah

Kabel yang digunakan untuk sambungan rumah adalah kabel jenis *twisted* (NFA2X) dengan ukuran 2x10 mm<sup>2</sup>. Sambungan rumah diambil dari tiang terdekat atau dari rumah terdekat, dapat diparalel maksimal 4 rumah. Setiap sambungan rumah harus dilengkapi dengan kWh meter atau MCB dengan ukuran 0.5A, 1A atau 2A sesuai dengan kapasitas daya pembangkit dan jumlah konsumen. MCB yang digunakan minimum memiliki *breaking capacity* 3 kA dan memiliki sertifikat/ logo SNI atau LMK. Instalasi dalam rumah standar terdiri dari 3 titik lampu dan 1 stop kontak kecuali pelanggan khusus atau kondisi tertentu yang disepakati.

Kabel yang digunakan untuk instalasi dalam rumah adalah jenis NYM 2x1,5 mm<sup>2</sup> dan 3x1,5 mm<sup>2</sup>. Instalasi sebaiknya dilakukan oleh teknisi listrik atau orang yang berpengalaman dengan bahan standar untuk menjamin keamanan. Lampu yang digunakan dalam rumah harus merupakan lampu hemat energi (bukan bohlam) dengan ukuran 5W, 8W dan 14 Watt, dengan kualitas yang baik dan memiliki logo SNI. Hal ini bertujuan untuk menghemat pemakaian listrik dan hemat biaya. Disarankan untuk tidak menggunakan peralatan listrik dengan daya lebih dari 100 Watt kecuali atas persetujuan pengelola PLTMH.



## 11 Bendung dan *intake*

Bendung adalah bangunan melintang sungai yang berfungsi untuk meninggikan muka air sungai agar bisa disadap. Bendung merupakan salah satu bagian dari bangunan utama. Bangunan utama adalah bangunan air (*hydraulic structure*) yang terdiri dari bagian-bagian: bendung (*weir structure*), bangunan pengambilan (*Intake structure*), bangunan pembilas (*flushing structure*) dan bangunan kantong lumpur (*sediment trap structure*).

Fungsi utama dari bangunan utama/bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*Intake structure*).

Konstruksi bendung untuk mikrohidro dapat berupa beton, bendung urugan batu atau tanah, bendung bronjong (tumpukan batu kali yang diikat ram kawat), atau pasangan batu.

Penempatan ataupun ukuran bendung sangat tergantung pada kondisi tiap-tiap lokasi. Penempatan lokasi bendung sebaiknya sebelum terjunan, di bagian sungai yang tidak terlalu lebar tetapi memiliki aliran yang tenang. Bendung harus dibangun cukup kokoh untuk menahan tekanan ataupun geseran air, terutama saat banjir tahunan atau banjir besar 10 tahunan. Sayap bendung adalah konstruksi dinding penahan di kedua belas sisi bendung. Tinggi sayap bendung harus lebih tinggi dari perkiraan tinggi level sungai saat banjir.

Konstruksi yang disarankan untuk bendung adalah pasangan batu kali dengan proses akhir plester, atau dengan bronjong batu dalam kondisi tertentu sesuai dengan pertimbangan di lapangan. Parameter yang harus diperhatikan saat merancang bendung adalah:

- lebar sungai;
- tinggi maksimum banjir;
- tinggi maksimum bending;
- lebar pintu penguras;
- tinggi sayap bending.

*Intake* berfungsi untuk mengalihkan air dari sungai dan dialirkan ke dalam saluran pembawa ataupun struktur sipil PLTMH lainnya. Lubang penyadap yang umum dipakai adalah bentuk persegi panjang atau *orifice* yang kondisinya terbenam di bawah level air di bendung. Ukuran lebar dan tinggi lubang penyadap harus dihitung sesuai dengan kebutuhan debit rencana dikalikan 120 %.

Penempatan lubang penyadap harus mempertimbangkan aliran endapan sedimen atau batu di sungai, harus juga memperhatikan kondisi aliran saat banjir. Hindari penempatan lubang penyadap pada bagian luar belokan sungai atau tegak lurus dengan arah aliran sungai.

Lokasi *intake* harus dipilih di tempat yang mampu mengalirkan sebanyak mungkin air ke saluran pembawa dan tidak membawa sedimen apung yang akan masuk ke dalam *intake*. Bendung dan *intake* sebaiknya mampu menahan banjir tahunan.

Bukaan *intake* (*intake orifice*) harus tenggelam di bawah muka air setiap kondisi aliran. Pintu *Intake* diperlukan dalam rangka mengosongkan bangunan *Intake* untuk perawatan atau perbaikan.

Bangunan/ lubang pengambilan (*intake orifice*) sebaiknya terletak di sisi luar dari belokan, dan berada di ujung / hilir dari belokan tersebut. Dasar lubang pengambilan (*intake orifice*) berada paling sedikit 50 cm di atas dasar sungai. Puncak mercu (*weir crest*) berada paling sedikit 30 cm di atas muka air pada saluran pengambilan (*intake canal*).

Sementara itu bangunan *intake* harus terlindung dari kerusakan akibat banjir. *Intake* harus selalu berada di bawah permukaan air untuk menjamin suplai air. *Intake* di tempatkan dekat



bendung atau pada tempat yang secara alamiah berfungsi sebagai bendung. *Intake* dapat ditempatkan paralel dengan aliran air (*side intake*) atau melintang memotong arus (*direct intake*).

Parameter yang harus diperhatikan saat merancang *intake* adalah :

- kondisi dasar sungai (stabil, kemiringan sungai kecil);
- bentuk sungai (lurus, berkelok-kelok);
- kondisi alam di sekitar sungai (terlindung dari banjir);
- pertimbangan penggunaan air sungai (irigasi);
- kemudahan pencapaian lokasi.

## 12 Saluran pembawa

### 12.1 Pengertian dan fungsi-fungsi umum

Saluran pembawa adalah saluran air yang kurang lebih sejajar dengan sungai, tetapi dengan kemiringan yang sangat kecil, mirip dengan saluran irigasi. Dengan bertambahnya panjang saluran, jarak dan perbedaan tinggi terhadap sungai (*head*) bertambah juga. Di ujung saluran (yakni bak penenang) air mencapai titik di atas permukaan air sungai, yang kemudian air diterjunkan melalui pipa pesat menuju ke rumah pembangkit, yang menggerakkan turbin. Berikut adalah tabel kecepatan air maksimum dalam saluran pembawa.

**Tabel 2 - Kecepatan aliran air maksimum yang diizinkan dalam saluran pembawa**

Jenis saluran pembawa	Kecepatan maksimum ( $v_{maks}$ )
saluran tanah/ alami	0.5 m/dt
pasangan batu kali	2 m/dt
pasangan beton	3 m/dt

Saluran pembawa seringkali dibangun dari pasangan batu kali (saluran dengan pasangan) atau berupa parit tanah menyerupai saluran irigasi (saluran tanpa pasangan, saluran tanah). Saluran pembawa dapat pula kombinasi antara saluran pasangan dan tanpa pasangan. Berikut adalah persyaratan saluran pembawa yang harus dipenuhi

- a. lebar minimum saluran (b) : 0.30 m,
- b. kemiringan maksimum saluran (I) : 0.0005 – 0.004 m/m,
- c. ketebalan minimum pasangan (t) : 0.25 – 0.30 m,
- d. tinggi bebas minimum (f) : 0.30 m.

Saluran pembawa harus mampu menampung debit air 10 % lebih tinggi dari debit rancangan. Hal ini ditujukan agar pada saat operasi maksimal muka air di bak penenang tidak turun dari ketinggian biasanya dan untuk tinggi bebas agar terhindar dari pelimpasan apabila terjadi kelebihan debit.

### 12.2 Saluran pasangan

Saluran pasangan biasanya terbuat dari pasangan batu kali atau dari beton (bertulang). Namun demikian, saluran pembawa beton biasanya lebih mahal, tidak sebanding dengan keuntungan tambahannya yang sangat sedikit. Saluran harus dibangun pada tanah yang baik dan tidak terganggu. Sangat penting bahwa kemiringan saluran dicantumkan oleh desainer.



### 12.3 Saluran tanah/ tanpa pasangan

Penting untuk diperhatikan kemiringan dan ukuran saluran. Kecepatan air di dalam saluran akan berubah tergantung pada lereng memanjang dan ukurannya. Jika kecepatan terlalu tinggi maka akan mengakibatkan erosi di dasar saluran dan lereng sisinya. Jika kecepatan air terlalu lambat, sedimen cepat mengendap dan akan menyumbat saluran.

Dibutuhkan tinggi bebas; *freeboard* (jarak antara level air dengan puncak tanggul saluran) sebesar 30 cm untuk mencegah meluapnya air ke tanggul akibat dari bertambahnya batas permukaan air normal.

### 12.4 Saluran kombinasi

Jika kondisi topografi memungkinkan, saluran kombinasi bisa dipertimbangkan untuk menjadi solusi yang efektif. Bagian saluran yang terletak pada sisi bukit tidak perlu diperkuat dengan pasangan batu (saluran tanah) sementara di sisi lain atau bawah bukit dapat menggunakan saluran pasangan batu kali.

### 12.5 Pipa drainase

Jika tanah tempat dibangun saluran berpasir dan cepat menyerap air, perlu dipasang pipa drainase sepanjang saluran pembawa agar pengikisan pondasi saluran dapat dicegah. Caranya dengan menanamkan pipa PVC 1.5" atau 2" di bawah pondasi saluran pembawa setiap jarak 4 m. Parit sepanjang dinding saluran pembawa pada kemiringan yang curam sebaiknya di gali, kemudian di isi dengan batu kerikil (0.25 m) dan tanah.

### 12.6 Saluran pembawa dengan bagian pipa

Apabila saluran pembawa harus menyeberangi/melintasi sungai kecil dan kondisi topografi yang sulit, maka terkadang dibutuhkan jembatan pipa di beberapa bagian. Untuk lokasi seperti ini dapat digunakan saluran terbuka yang dikombinasi dengan saluran pipa.

Panjang pipa penghubung saluran tak ber-penyangga ini tak boleh terlalu panjang karena dikhawatirkan dapat roboh apabila terlalu panjang. Apabila terbuat dari pipa PVC maka ujung pipa harus pas dengan pipa *coupling (plugging socket)* dan harus di masukkan kedalam lapisan beton sekurang-kurangnya 10 cm. Apabila terbuat dari pipa baja maka di las dengan *puddle flange* dan disambung dalam beton. Untuk pipa baja yang lebih dari 2 m maka harus mempertimbangkan pemuaian.

## 13 Bak penenang

### 13.1 Pengertian dan fungsi-fungsi umum

Bak penenang adalah kolam air, biasanya berbentuk kotak, terbuat dari pasangan batu kali yang menghubungkan saluran pembawa dengan pipa pesat. Bak penenang dilengkapi dengan:

- saluran pelimpah untuk air yang berlebih (*overflow*),
- lubang untuk menguras bak dan sedimen,
- saringan untuk mencegah masuknya sampah yang mengapung.

Saluran buangan air yang dibuat setelah pelimpah *overflow* mesti di teruskan sampai ke selokan terdekat, kembali ke sungai atau dapat digunakan untuk irigasi (ditentukan sesuai dengan kondisi lokasi). Saluran buangan ini dapat berupa saluran atau terjunan dengan struktur konstruksi yang dapat meredam energi.



Lebar bak penenang harus disesuaikan dengan ukuran minimum saringan. Lebar bangunan bak penenang minimal 2 kali lebar saluran pembawa. Sedangkan panjang bak mesti cukup panjang agar pasir dapat mengendap di bak sehingga pasir/butiran tak masuk ke dalam turbin. Ujung atas jalan masuk pipa pesat harus terendam (kurang lebih 2 kali diameter pipa) di bawah permukaan air normal untuk menghindari pusaran arus air. Lubang masuk pipa pipa pesat sekurang-kurangnya harus berjarak 0.2 m (20 cm) dari dasar bak. Dasar bak penenang harus dibuat miring untuk memudahkan pada saat pengurasan. Pengurasan dilakukan dengan membuka pipa penguras atau pintu penguras. Letak lubang pipa pesat dapat terdapat di pinggir/ sisi bak penenang atau di ujung bak penenang.

## 14 Pipa pesat

### 14.1 Pipa pesat PVC

Pipa pesat dapat terbuat dari logam atau PVC dengan diameter yang berbeda-beda. Pipa PVC dapat disambung dengan soket yang di lem atau dengan sealing karet. Pipanya harus terlindung dari sinar matahari, yakni yang paling baik adalah dengan cara ditimbun di dalam tanah. Apabila tidak ditimbun, pipa mesti dibungkus dengan material yang bisa melindungi dari sinar matahari (misalnya dengan dengan plastik dan di ikat dengan kawat).

### 14.2 Pipa baja

Pipa besi bisa berupa pipa yang dibuat dari lembaran baja atau pipa buatan pabrik yang yang ukurannya tak terlalu panjang (juga tak terlalu pendek), sedemikian rupa sehingga mudah untuk diangkut dengan alat transportasi, mudah dipasang dan mudah disambung. Pipa yang terbuat dari gulungan lembaran baja biasanya sudah digulung dibengkel, yang kemudian dilas di lokasi PLTMH. Penyambungan ruas-ruas pipa besi dapat dilakukan dengan cara dilas di lokasi atau dengan *flange* yang di sambung dengan baut. Apabila penyambungan itu dengan cara dilas, pengelasan harus dilakukan oleh tukang las yang berpengalaman.

### 14.3 Sambungan muai

Sambungan muai (*Expansion joint*) harus di pasang pada pipa pesat yang terbuat dari besi jika jarak antara dua angkur blok lebih dari 2 meter. Sambungan muai harus di buat di bengkel yang berpengalaman dan dipasang oleh pekerja yang berpengalaman pula. Biasanya di buat dari baja ringan. Sambungan muai yang paling umum digunakan adalah sambungan muai sarung (*sleeve expansion joint*) yang dilengkapi dengan *packing ring* asbes dan *packing gland* untuk menghentikan kebocoran air. Untuk PLTMH tertentu sambungan muai *belows* (*bellow-expansion-joint*) dapat digunakan.

### 14.4 Pelindung karat

Pelindung karat untuk pipa pesat besi yang di atas tanah harus di lapisi dengan satu lapisan primer (meni besi) dan kemudian dua lapisan akhir *tar epoxy* atau cat besi. Untuk pipa pesat besi yang di timbun dalam tanah, lapisan akhir harus terdiri dari tiga lapisan cat besi. Pengecatan untuk pipa bagian dalam dengan diameter di bawah 300 mm tidak diwajibkan.

### 14.5 Blok angkur

Blok angkur merupakan struktur beton kokoh yang diperlukan untuk menahan gaya yang terjadi di dalam pipa pesat. Blok angkur di bak penenang (awal pipa pesat) dan di rumah turbin (yang masuk ke turbin) sangat penting. Tambahan blok angkur juga diperlukan apabila



terjadi perubahan arah pipa (belokan vertikal dan horizontal) dan perubahan (reduksi) diameter pipa.

#### **14.6 Penyangga pipa pesat**

Pipa pesat yang dipasang di atas tanah harus dilengkapi dengan penyangga sepanjang pipa pesat.. Penyangga ini terbuat pasangan batu kali.. Struktur penyangga pipa pesat dibuat sedemikian rupa agar pipa pesat tersebut tidak sulit untuk bergerak memanjang karena pemuaian/kontraksi tetapi dengan gesekan yang minimum. Untuk itu permukaan pipa pesat yang bergesekan dengan penyangganya harus dilapisi dengan aspal bitumen atau material lainnya (plastik, baja berpelumas). Saluran kecil sebaiknya dibuat untuk menguras air hujan atau bocor dari permukaan kontak pipa dan penyangga.

### **15 Rumah pembangkit**

#### **15.1 Pengertian dan fungsi-fungsi umum**

Rumah pembangkit dibangun untuk menempatkan dan melindungi peralatan turbin dan generator dari fihak yang tidak berkepentingan dan dari kerusakan yang mungkin timbul akibat cuaca. Di dalam rumah pembangkit biasanya juga terdapat tempat untuk panel kontrol, dan area untuk pekerjaan pemeliharaan termasuk lemari/rak untuk peralatan dan suku cadang. Tata letak peralatan-peralatan ini menentukan ukuran dari rumah turbin. Perlu pula disediakan ruang yang cukup untuk pembongkaran unit turbin-generator di dalam rumah pembangkit. Area yang di perlukan untuk pekerjaan tersebut sekurang-kurangnya satu setengah (1.5) kali dari area unit turbin ketika beroperasi. Pintu rumah pembangkit harus cukup besar agar komponen terbesar peralatan mekanikal elektrik dapat masuk ke dalamnya.

Pondasi rumah pembangkit, turbin dan generator harus dibangun dengan beton bertulang. Pondasi rumah turbin terbuat dari beton bertulang. Tulangan dengan satu lapis mesh (dia. 8 mm) digunakan untuk pondasi, sementara tulangan dengan dua lapis mesh diperlukan untuk pondasi turbin dan generator. Sangat dianjurkan untuk menggunakan besi beton standar SNI untuk tulangan. Lapisan kerikil setebal 5 cm harus di letakkan di bawah tulangan. Untuk struktur atas rumah turbin, yakni dinding bagian atas dan atap banyak pilihan yang dapat dilakukan; bisa dengan tembok atau dinding papan. Untuk atapnya bisa menggunakan genteng atau atap gelombang. Tetapi harus mempertimbangkan ketersediaan material lokal dan kondisi cuaca.

#### **15.2 Saluran drainase rumah pembangkit**

Untuk mengalirkan/ membuang air hujan (dari atap dan lingkungan sekitar rumah pembangkit) maka harus dibuat saluran drainase di sekitar rumah pembangkit. Apabila saluran drainase tidak dibuat dapat berdampak pada penggerusan rumah turbin dan dapat mengakibatkan kerusakan yang besar.

### **16 Saluran pembuang**

Saluran pembuang mengalirkan air dari turbin kembali ke sungai. Saluran pembuang perlu didesain cukup luas agar air buangan turbin dapat mengalir dengan aman. Dinding pengaman pada sungai dan posisi ketinggian lantai rumah turbin dibuat cukup tinggi, yaitu di atas tinggi muka air maksimum pada saat banjir. Perhatikan erosi dan endapan dalam saluran pembuang. Erosi dapat berbahaya untuk stabilitas bangunan.



## 17 Saringan

Air mengalir melalui saringan langsung menuju ke pembangkit. Saringan bertugas untuk menahan benda-benda besar (seperti sampah kayu dan dedaunan), yang dapat membahayakan atau menyumbat turbin. Saringan harus dibuat dan dipasang sedemikian rupa sehingga dapat dilepas dari struktur beton/ pasangan untuk memudahkan pemeliharaan. Saringan harus terlindung dari karat, idealnya saringan dibersihkan dulu dengan *sandblasting*. *Sandblasting* adalah suatu metode pembersihan logam, terutama besi atau baja dengan cara disemprot dengan sejenis pasir kuarsa bertekanan tinggi, hingga karat yang menempel pada baja itu benar-benar hilang. Apabila *sandblasting* tidak memungkinkan, karat bisa dibersihkan dengan ampelas. Setelah baja bersih dari karat, segera lapisi dengan lapisan primer (meni besi) dan lapisan cat yang tidak mudah terkelupas atau dengan galvanis. Saringan harus dibuat agar mudah dibersihkan dengan penggaruk, misalnya batang baja penguat horisontal harus di las di belakang batang baja vertikal.

Syarat yang harus dipenuhi dalam perancangan, pembuatan dan pemasangan saringan :

- kecepatan aliran di muka saringan lebih kecil atau sama dengan 0.5 m/s,
- jarak antara pelat baja untuk turbin jenis *cross-flow* lebih kecil atau sama dengan 0.5 x jarak antar *runner*.

## 18 Pintu air

Pintu air diperlukan untuk mengatur masuknya aliran air atau menyiram/ menghanyutkan komponen tertentu (misalnya endapan pasir). Pintu air harus terbuat dari konstruksi baja ringan yang di las. Pintu air terdiri dari daun pintu dan rangka yang terbuat dari besi siku dengan angkur untuk ditanam ke dalam beton. Ketebalan daun pintu adalah 6 mm atau lebih. Desainnya harus sedemikian rupa sehingga daun pintu dapat dilepas untuk perbaikan atau penggantian. Pintu penguras harus didesain agar pegangannya dapat dikunci dengan rantai dan gembok untuk mencegah pembukaan atau penutupan pintu yang tidak diinginkan. Pelindung korosi pada pintu penguras sama dengan yang ditentukan untuk saringan. Pintu penguras akan difabrikasi oleh pemasok/manufaktur turbin. Perhatian khusus harus diberikan saat pembetonan pintu air. Rangka dan angkur harus diletakkan pada posisi yang tepat (bendung, *Intake*, bak penenang) sebelum memulai pengecoran beton.